

ОНЛАЙН-БАЗА ДАННЫХ ВОДЯНЫХ МАЗЕРОВ В ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Д. А. Ладейщиков

Астрономическая обсерватория Уральского федерального университета

Представлены первые результаты разработки базы данных водяных мазеров в областях звездообразования. База данных в настоящий момент доступна в режиме онлайн по адресу: <http://maserdb.net>. Степень покрытия базы данных на момент публикации составляет 84 % от всех регистраций водяных мазеров в областях звездообразования из доступной литературы. Выполнена первичная статистическая обработка данных и проведено совместное исследование водяных мазеров и источников излучения в континууме на 870 мкм по данным обзора ATLASGAL. При помощи обобщенной линейной модели получено соотношение, позволяющее оценить вероятность обнаружения водяного мазера в зависимости от физических параметров сгустков из каталога ATLASGAL. По оценке, в настоящий момент зарегистрировано лишь ~25 % от общего числа водяных мазеров в направлении на источники ATLASGAL.

ONLINE DATABASE OF WATER MASERS IN THE STAR-FORMING REGIONS: THE FIRST RESULTS

D. A. Ladeyschikov

Astronomical Observatory of the Ural Federal University

The first results of developing a database of water masers in star-forming regions are presented. The database is stored online at the address <http://maserdb.net>. The coverage of the database at the time of publication is 84 % of all positive detections of water masers in star-forming regions from the available literature. Preliminary statistical analysis of the data and study of the association between water masers and ATLASGAL 870 μm sources was carried out. A relation was obtained from the generalized linear model to estimate water maser detection probability depending on the physical parameters of clumps from the ATLASGAL catalogue. According to estimates, only ~25 % of the total number of water masers towards ATLASGAL sources has been detected at the moment.

В настоящее время в астрономии накоплен большой массив данных наблюдений водяных мазерных источников. Однако существует проблема доступа к данным: они в настоящее время опубликованы независимо в текстах статей, а также в электронном текстовом формате и в системе VizieR. В таком виде невозможно произвести эффективный поиск по всем опубликованным данным наблюдений, а также трудно выполнить анализ в связи с разнородностью типов и форматов данных. Представленная в настоящей работе база данных водяных мазеров является решением проблемы доступа к данным и позволяет исследовать характеристики водяных мазерных источников в областях звездообразования при самом широком охвате их наблюдений.

Для сбора, хранения и анализа данных по мазерному излучению водяного пара используется информационная система *MaserDB.net*. Она позволяет хранить данные по мазерам любых молекул и уже используется для хранения данных по метанольным мазерам I и II класса в областях звездообразования [1, 2], а также по мазерам молекул H_2O , OH и SiO в протозвонизирующихся звездах [3].

Данные по водяным мазерам введены в базу данных с помощью семантического анализа доступных к загрузке электронных текстовых материалов, а также при помощи распознавания текстов статей в формате PDF при помощи технологии **Optical Character Recognition (OCR)** при отсутствии данных в текстовом виде. Ввод данных произведен в полуавтоматическом режиме с помощью специально разработанной информационной системы, работающей в режиме онлайн. Информационная система максимально упрощает ввод данных в базу, но полностью автоматизировать этот процесс невозможно. В базу данных введены как данные одиночных антенн, так и данные интерферометров с сохранением всей необходимой сопутствующей информации о наблюдениях (размер диаграммы направленности, координаты, частота и т. д.).

При обработке текстов научных статей кроме табличных данных введены также изображения и текстовые описания мазерных источников. Дополнительно присоединена информация, отсутствующая в статьях, в том числе ассоциация и параметры источников из популярных астрономических каталогов Simbad, 2MASS, GLIMPSE, WISE, IRAS, Akari, ATLASGAL, Bolocam, Hi-GAL, MSX, SDC и др., а также информация о регистрации мазеров других молекул, в том числе CH_3OH , OH и SiO . Все наблюдения водяных мазеров были объединены в группы источников с помощью алгоритма DBSCAN, что подробно было описано ранее в работе [2].

На текущий момент в базу данных включены 7 232 положительные регистрации и 14 102 отрицательные регистрации водяных мазеров из 102 статей. Из них 995 регистраций являются данными интерферометров, для которых доступна информация о мазерных пятнах. К 2 974 наблюдениям были добавлены изображения спектров в формате PNG из статей. Общее число групп источников с положительной регистрацией мазера составило 2 334, с отрицательной — 5 577. По оценке, покрытие базы данных по числу включенных положительных регистраций водяных мазеров составляет 84 %. Оценка получена на основании анализа списка всех статей по водяным мазерам, полученным с помощью SQL-запроса к системе NASA ADS по ключевым словам, связанным с водяными мазерами. Из списка были удалены статьи по наблюдениям водяных мазеров во внешних галактиках, а также в проэволюционировавших звездах. Для каждой статьи было выписано число положительных регистраций, а процент готовности рассчитан как отношение суммы регистраций в добавленных статьях на сумму регистраций для не включенных в базу данных статей.

Интерфейс для работы с базой данных позволяет в режиме онлайн отбирать источники по различным критериям (см. рисунок), в том числе с помощью произвольных SQL-запросов с привлечением внешних данных из популярных астрономических каталогов. С помощью данного интерфейса можно получить ответы на следующие вопросы: какие объекты имеют мазеры определенного типа (H_2O , OH , SiO)? какие характеристики имеют связанные источники в популярных инфракрасных, миллиметровых и радиокаталогах? какие наиболее яркие водяные мазеры известны в настоящее время?.. Возможно также построение гистограмм и двумерных распределений любых параметров в режиме онлайн для быстрой проверки гипотез. Кроме того, интерфейс базы данных позволяет получить подробную информацию по отдельным объектам.

Для всех мазерных источников излучения в линии воды были найдены ассоциации с каталогом пылевых сгустков на 870 мкм из обзора ATLASGAL [4]. Данные были проанализированы с помощью обобщенной биномиальной линейной модели [5], из которой получено соотношение, позволяющее рассчитать вероятность обнаружения водяного мазера по физическим параметрам ассоциированных источников ATLASGAL. Данная модель впервые была предложена для оценки вероятности обнаружения водяных мазеров в работе [6], а затем улучшена в работе [7]. Как было отмечено в данных работах, качество модели напрямую зависит от объема исходной выборки данных и качества определения расстояния до источников. В настоящей работе используется максимальная выборка о всех известных в

Object list

Use this form to get list of objects with different criteria

Select molecule that should be detected in object.

- ☐ H₂O ☐ CH₃OH (Class I)
☐ OH ☐ CH₃OH (Class II)
☐ SiO

Select molecule that should be observed in object (even non-detected).

- ☒ H₂O ☐ CH₃OH (Class I)
☐ OH ☐ CH₃OH (Class II)
☐ SiO

☐ Use OR instead of AND

☐ Do not include sources near Galactic Center

☐ Use interferometric data only for methanol masers

- ☐ Display only sources that are bursting right now (experimental)
☐ Display only sources with detection of H₂CO maser (experimental) ***
☐ Include information about H₂CO maser (experimental) ***

We found **1080** objects observed in H₂O with filter: atlasgal is not null and lognh2 > 0 and m_fwhm > 0 (**688** is detected with detection rate **63.79%**)

SELECT count(*) from h2o_objects LEFT JOIN assoc ON h2o_objects.group_name = assoc.grp AND assoc.tbl = 'h2o_objects' LEFT JOIN atlasgal_par ON assoc.atlasgal=atlasgal_par.atlas_name WHERE (det like '%Y%' OR det like '%N%') AND (assoc.atlasgal is not null and lognh2 > 0 and m_fwhm > 0)

Put some criteria for source filtration:

- ☒ Enable filtration (coordinates, velocity, distance, maser fluxes, IR and sub-mm fluxes)

atlasgal is not null and lognh2 > 0 and m_fwhm > 0

- ☐ Show available columns description

Get objects list

Get objects list (in new window)

Get objects statistics

Get objects statistics (in new window)

Display associated data

- ☐ Simbad source
☐ Simbad parameters
☐ IRAS source
☐ IRAS flux density (F12,F25,F60,F100)
☐ 2MASS source
☐ 2MASS magnituded (J,H,K)
☐ Variable star
☐ Variable star parameters
☐ WISE source
☐ WISE magnitudes (w1, w2, w3, w4)
☐ GLIMPSE source
☐ GLIMPSE magnitudes (3.6, 4.5, 5.8, 8.0)
☐ Akari IRC source
☐ Akari IRC fluxes (S09, S18)
☐ Akari FIS source
☐ Akari FIS fluxes (S65, S90, S140, S160)
☐ EGO (Extended Green Object) source
☐ EGO parameters (Spitzer bands)
☐ Bolocam source
☐ Bolocam parameters (1.1 mm)
☒ ATLASGAL source
☐ ATLASGAL parameters (870 um)
☒ ATLASGAL physical parameters
☐ Hi-GAL source ***
☐ Hi-GAL parameters (70-500 um)
☐ MSX source ***
☐ MSX parameters (8-21 um)
☐ Spitzer Dark Cloud (SDC) source ***
☐ SDC parameters

View images

- ☒ DSS (optical)
☐ 2MASS (JHK)
☐ WISE (4-22 um)
☐ IRAC (3-8 um)
☐ GLIMPSE 360 (3.6-4.5 um)
☐ PACS color (70-160 um)
☐ SPIRE color (250-500 um)
☐ AKARI color (60-160 um)
☒ ATLASGAL (870 um)
☒ ATLASGAL+Planck (870 um)
☐ Bolocam (1.1 mm)
☐ NVSS (1.4 GHz)
☐ SDSS (optical+NIR)

Image size: arcsec (default is 120 arcsec)

Страница выбора критериев для отбора объектов в системе MaserDB.net

литературе мазерных источниках, а оценка расстояния использована из каталога физических параметров густков ATLASGAL [8]. В качестве параметров модели были протестированы все физические параметры густков, доступные в работе [8]. После оптимизации модели оказалось, что следующие параметры густков ATLASGAL больше всего влияют на вероятность обнаружения водяных мазеров: пиковая плотность потока, интегральная плотность потока, расстояние, болометрическая светимость, радиус и масса густков. Получена следующая формула зависимости вероятности обнаружения мазера p от физических параметров густков ATLASGAL:

$$\log \frac{p}{1-p} = 0.02263 + 0.5821 \times F_{\text{peak}} - 0.04031 \times F_{\text{int}} + 0.05292 \times D + \\ + 2.445 \times 10^{-6} \times L_{\text{bol}} - 2.433 \times r_{\text{FWHM}} + 5.248 \times 10^{-4} \times M_{\text{clump}}, \quad (1)$$

где F_{peak} и F_{int} — пиковая и интегральная плотность потока в Ян; L_{bol} — болометрическая светимость в L_{\odot} ; r_{FWHM} — размер густка (в пк) на уровне половины интенсивности; M_{clump} — масса густка ((в M_{\odot}) на уровне половины интенсивности.

Применение модели (1) к выборке всех источников ATLASGAL, в которых есть наблюдения водяных мазеров и для которых определены значения физических параметров

(~ 1000 источников), приводит к тому, что для 70 % источников (761 из 1079) модель верно оценивает обнаружение водяного мазера при использовании порога вероятности более 50 % как возможное обнаружение. Сгустки, в которых модель неверно предсказывает наличие водяного мазера, имеют средние значения плотности потока и светимости, в два-три раза меньшие, чем в сгустках, в которых модель правильно определила наличие мазера: $\bar{L}_{\text{bol}}^{\text{true}}/\bar{L}_{\text{bol}}^{\text{false}} = 2.87$, $\bar{F}_{\text{peak}}^{\text{true}}/\bar{F}_{\text{peak}}^{\text{false}} = 2.25$. Таким образом, модель имеет тенденцию к завышению вероятности возникновения мазера в сгустках с низкой плотностью потока и светимостью. Данная особенность может быть связана с эффектом селекции из-за отсутствия значительного числа наблюдений для «слабых» по плотности потока и светимости сгустков. Для уточнения модели необходимо проведение большего числа наблюдений водяных мазеров в направлении на сгустки с низкой плотностью потока и светимостью. В настоящий момент послана соответствующая заявка для проведения таких наблюдений на интерферометре ATCA (код проекта C3413).

Применение модели (1) ко всем сгусткам из каталога [8], для которых определены необходимые физические параметры, показало, что в 2679 сгустках из 5335 (50.2 %) следует ожидать излучение водяного мазера. Из 5335 сгустков только в направлении на 1080 в настоящий момент проведены наблюдения водяных мазеров в доступной литературе. Излучение зарегистрировано в 687 сгустках (63.6 %). Таким образом, по оценке, в настоящий момент зарегистрировано лишь ~ 25 % от общего числа водяных мазеров в направлении на источники ATLASGAL. Это дает мотивацию для проведения дальнейших наблюдений водяных мазеров в направлении на сгустки из каталога ATLASGAL.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-72-00137.

Библиографические ссылки

- [1] *Ladeyschikov Dmitry A., Urquhart James S., Sobolev Andrey M. et al.* The Physical Parameters of Clumps Associated with Class I Methanol Masers // *Astron. J.* — 2020. — Vol. 160, № 5. — P. 213.
- [2] *Ladeyschikov Dmitry A., Bayandina Olga S., Sobolev Andrey M.* Online Database of Class I Methanol Masers // *Astron. J.* — 2019. — Vol. 158, № 6. — P. 233.
- [3] *Sobolev Andrey M., Ladeyschikov Dmitry A., Nakashima Jun-ichi.* Database of molecular masers and variable stars // *Research in Astronomy and Astrophysics.* — 2019. — Vol. 19, № 3. — P. 034.
- [4] *Schuller F., Menten K. M., Contreras Y. et al.* ATLASGAL - The APEX telescope large area survey of the galaxy at 870 μm // *Astron. Astrophys.* — 2009. — Vol. 504, № 2. — P. 415–427.
- [5] *McCullagh P., Nelder J. A.* Generalized Linear Models, Second Edition. Chapman and Hall/CRC Monographs on Statistics and Applied Probability Series. — Chapman & Hall, 1989.
- [6] *Breen S. L., Ellingsen S. P., Johnston-Hollitt M. et al.* A search for 22-GHz water masers within the giant molecular cloud associated with RCW 106 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2007. — Vol. 377, № 2. — P. 491–506.
- [7] *Breen S. L., Ellingsen S. P.* Constraining the properties of 1.2-mm dust clumps that contain luminous water masers // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2011. — Vol. 416, № 1. — P. 178–204.
- [8] *Urquhart J. S., König C., Giannetti A. et al.* ATLASGAL - properties of a complete sample of Galactic clumps // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2018. — Vol. 473, № 1. — P. 1059–1102.